



实验成绩	
教师签字	
批改日期	

实 验 报 告

题 目：RLC 电路的暂态过程

学 院：物理学院

学 号：11210615

姓 名：石航瑞

组 别：X2

实验地点：唐敖庆楼 B 区

实验时间：2023 年 6 月 8 日

一、 实验原理

RC 电路的暂态过程即 RC 电路的充放电过程，其电路图如图1所示，其电路方程为：

$$u_C + iR = E$$

将 $i = C \frac{du_C}{dt}$ 代入上式，方程可写为：

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC} u_C = \frac{E}{RC}$$

和

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC} u_C = 0$$

对于充电过程有：

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, u_R = E e^{-\frac{t}{RC}}$$

放电过程为：

$$i = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, u_R = -E e^{-\frac{t}{RC}}$$

可以发现充放电的快慢由 RC 决定，令 $\tau = RC$ 为电路的时间常量，当 $t = \tau$ 的时候，有 $u_C = 0.632E$ 。

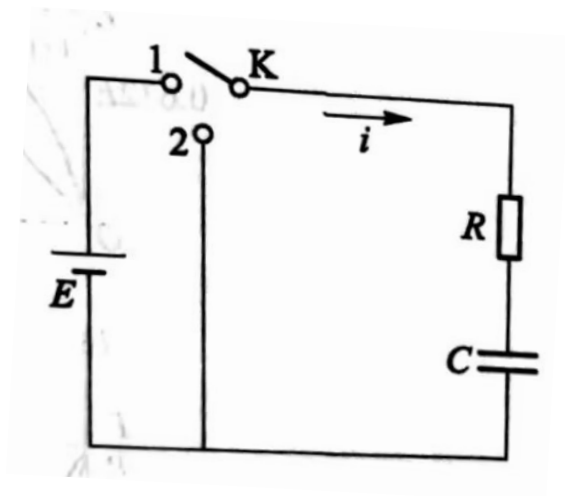


图1 RC 串联电路

对于 RL 电路的暂态过程，其电路图如图2 所示，其电路方程为：
电流增加过程中：

$$L \frac{di}{dt} + iR = E$$

在电流下降过程中：

$$L \frac{di}{dt} + iR = 0$$

将 $u_L = E e^{-\frac{Rt}{L}}$ 代入上述方程可得：

在电流增加过程中：

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right)$$

在电流下降过程中：

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{Rt}{L}}$$

时间常量 $\tau = \frac{L}{R}$ 的大小标志着 i 和电感上电压 u_L 均按照指数变化。

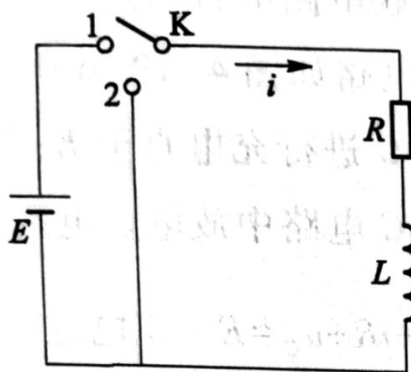


图2 RL 串联电路

对于 RLC 电路的暂态过程，其电路方程为：

$$L \frac{di}{dt} + iR + u_C = E, 0$$

将 $i = C \frac{du_C}{dt}$ 代入可得：

$$LC \frac{d^2 u_C}{dt^2} + RC \frac{du_C}{dt} + u_C = E, 0$$

我们定义阻尼度 $\lambda = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$ ，方程的解与 λ 有关，存在三种情况。

当 $\lambda < 1$ 时，其解为：

$$u_C = E - \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2 C}} E e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$u_C = \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2 C}} E e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t + \varphi)$$

式中时间常量 $\tau = \frac{2L}{R}$

衰减的角频率

$$\omega = \frac{1}{LC} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}$$

当 $\lambda > 1$ 时，其解为：

$$u_C = E - \sqrt{\frac{4L}{R^2C - 4L}} E e^{-\alpha t} \operatorname{sh}(\beta t + \varphi)$$

$$u_C = \sqrt{\frac{4L}{R^2C - 4L}} E e^{-\alpha t} \operatorname{sh}(\beta t + \varphi)$$

式中 $\alpha = \frac{R}{2L}$, $\beta = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{R^2C}{4L} - 1}$ 。

当 $\lambda = 1$ 时，方程的解为：

$$u_C = E - E \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_C = E \left(1 + \frac{t}{\tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

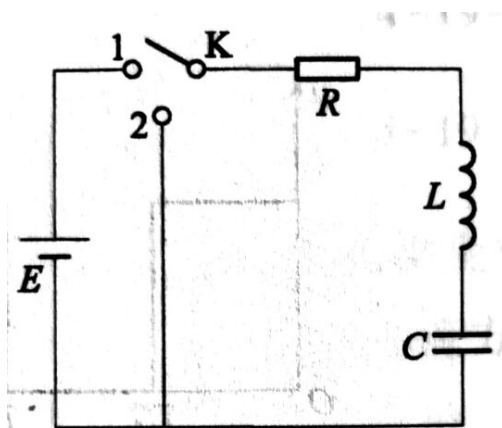


图3 RLC串联电路

二、 实验步骤

1. RC 串联电路暂态过程的研究

按图 4 连接线路，取 $R = 4k\Omega$, $C = 0.02\mu F$ ，观察其波形，测量时间常量 τ ，并与理论值 $\tau = RC$ 相比较。

2. RL 串联电路的暂态过程的研究

参考图 4 设计电路，取 $R = 1k\Omega$, $L = 0.1H$ ，观察其波形，测量时间常量 τ ，并与理论值 $\tau = \frac{L}{R}$ 相比较。

3. RLC 电路暂态过程的研究

(1) 线路如图 5 所示，取 $L = 100mH$, $C = 0.002\mu F$ ，计算此时对应的临

界电阻值。

(2) 观察阻尼振荡状态并描绘振荡曲线。

①电阻从零开始增大，观察阻尼振荡的变化情况并分析原因，找出 R 和 τ 的关系。

②测量振荡周期 $T_{总}$ ，由示波器观察在方波的一个周期内衰减振荡的次数 N ，则振荡周期 $T' = \frac{T_{总}}{N}$ ，并同用公式求出的 $T'_{理}$ 相比较。

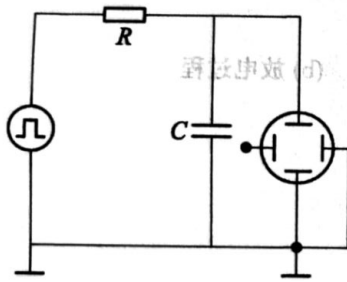


图 4 RC 电路暂态过程测量电路

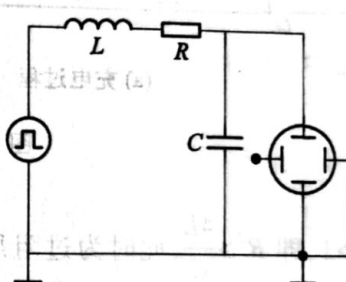


图 5 RLC 电路暂态过程测量电路

(3) 临界阻尼状态

观察波形，改变阻值 R 直到波形恰好失去波峰波谷，绘出曲线。记录此时方波、电感、电阻箱的阻值，加和得到临界阻值的测量值，并与理论值进行比较。

(4) 过阻尼状态

继续加大阻值 R ，直到过阻尼状态，绘出曲线。

4. 测量电路分布电容

令电容 $C = 0$ ，再去观察波形，测量记录 N 次震荡所用时间 $T_{总}$ ，得到振荡周期 T'' 。根据公式得到电路分布电容 C_f 并对 R 的临界值进行修正。

三、 实验数据

表1 RC、RL暂态过程研究

电路类型	R	C/L	$\tau_{理}$	$\tau_{测}$
RC	$4000\ \Omega$	$C = 0.02\ \mu F$	$80\ \mu s$	$84\ \mu s$
LC	$1000\ \Omega$	$L = 0.1\ H$	$100\ \mu s$	$88\ \mu s$

表2 RLC串联电路阻尼振荡测量

L/H	$C/\mu F$	$T/\mu s$	N	$T'/\mu s$	$T'_{理}/\mu s$	R 与 τ 的关系
0.1	0.002	380	4	95	88.86	R 越大， τ 越大

表3 RLC临界阻尼测量

$R_{\text{并}}/\Omega$	R_L/Ω	$R_{\text{箱}}/\Omega$	$R_{\text{临}}/\Omega$	$R_{\text{理}}/\Omega$
50	63.4	11200	11413.4	14142

表4 测量电路分布电容

$R_{\text{箱}}/\Omega$	$T/\mu s$	N
4300	98	3

四、 计算与分析

对于电路分布电容：

$$T'' = \frac{T}{N} = 32.67\mu s$$

由于

$$T'' = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}$$

可解得：

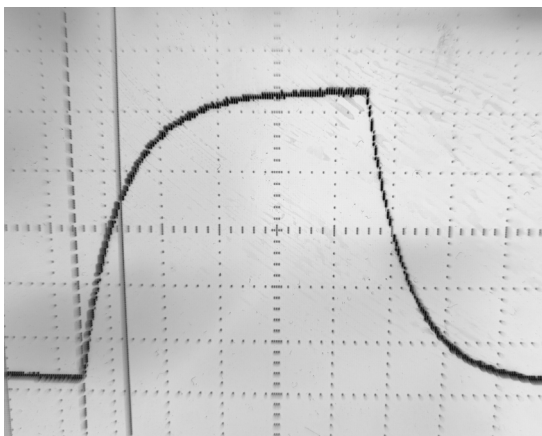
$$C_f = 267.0pF$$

所以：

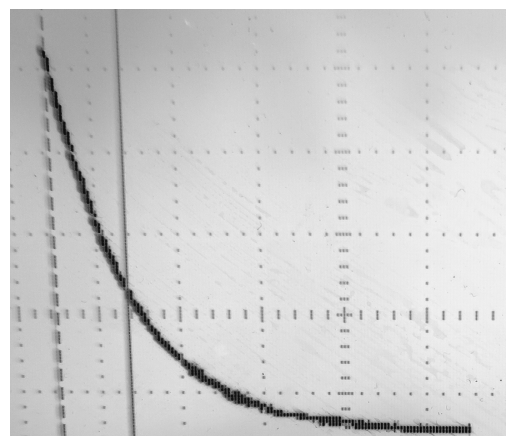
$$R_{\text{修}} = 2 \sqrt{\frac{L}{C + C_f}} = 13283.3\Omega$$

在RC电路测量中， τ 误差为5%，RL测量中误差为12%，RLC测量中误差为6.9%。临界电阻测量中，相对误差为14%。

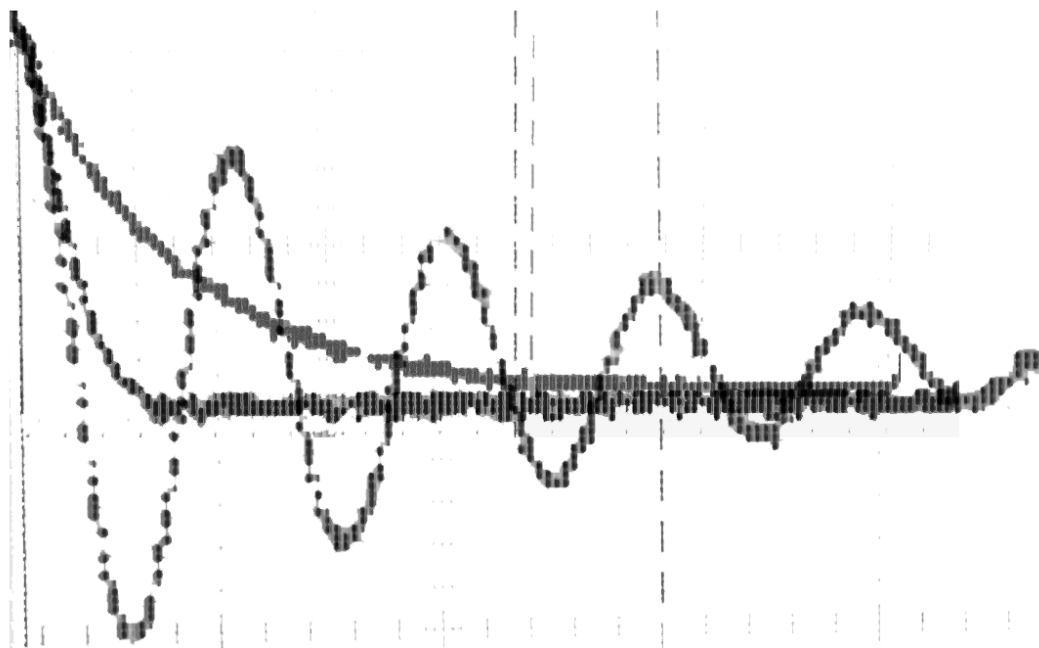
可以看出实验误差比较大，推测可能是由于电感元件的实际电感与标注有一定的偏差，电路中导线等元件存在一定的电阻等误差导致。



RC 串联电路图像



RL 串联电路图像



过阻尼、临界阻尼、阻尼振荡三者信号输出图

五、思考题

1. 在 RC 电路中，当 τ 比方波的半个周期大得多或小得多的时候（相差几十倍以上）各有什么现象？

当其很大时，会导致电容器无法完全充满或者释放电荷就进入下一个充放电周期，高频信号被抑制，而当 τ 很小时，电路的输出信号会近似为方波信号。

2. 说明 RC 电路组成的延时开关的工作原理。

RC 电路在达到高电平和低电平时有一个时间差，我们可以通过不同的 R、C 值来调节其时间差，实现延时开关的效果。

3. 依据原理中 RLC 阻尼振荡时的公式，设计一个根据振荡振幅随时间的变化来测量 τ 值的方法。

在一个波形中，先确定 u 的最大值 u_m 此时对应时间 t_m 再确定这段波形 $u = 0$ 的两点的时间 t_1 、 t_2 ，取平均 $t_0 = \frac{t_1 + t_2}{2}$ ，再由 Δt 得到公式中余弦函数部分的圆频率 ω ， t 时刻对应阻尼振荡公式中余弦部分为 0 的时刻，此时的 u 记为 u_0 。通过 t 与 t_m 的差与圆频率 ω 可以得到公式中余弦函数部分的比值，再利用 $\frac{u}{u_m}$ 可得 τ 的值。

4. 电容、电感均为储能元件，试从能量转化观点分析解释RLC阻尼振荡波形的原理及特点。

在 RLC 电路中，电容储存的是电势能，电感储存的是磁场能。当电路中产

生振荡时，电势能和磁场能也会相互转换。当电荷从电容流向电感时，电容上的电势能减小，而电感中的磁场能增加；反之，当电荷从电感流回电容器时，电感中的磁场能减小，而电容上的电势能增加。这种周期性能量转换导致电路中的电流和电压产生振荡波形，而电阻起损耗作用，即将电磁能转化为热能耗散。